

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES  
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
14. Juli 2005 (14.07.2005)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
**WO 2005/063536 A1**

(51) Internationale Patentklassifikation<sup>7</sup>: **B60T 8/00**

(74) Anwälte: **PFEFFER, Frank** usw.; DaimlerChrysler AG,  
Intellectual Property Management, IPM-C106, 70546  
Stuttgart (DE).

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2004/014528

(22) Internationales Anmeldedatum:  
21. Dezember 2004 (21.12.2004)

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für  
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,  
AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH,  
CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES,  
FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE,  
KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD,  
MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG,  
PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM,  
TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM,  
ZW.

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:  
103 60 728.5 23. Dezember 2003 (23.12.2003) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von  
US): **DAIMLERCHRYSLER AG** [DE/DE]; Epplestrasse  
225, 70567 Stuttgart (DE).

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für  
jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW,  
GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG,  
ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU,  
TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK,  
EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, MC, NL,  
PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI,  
CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

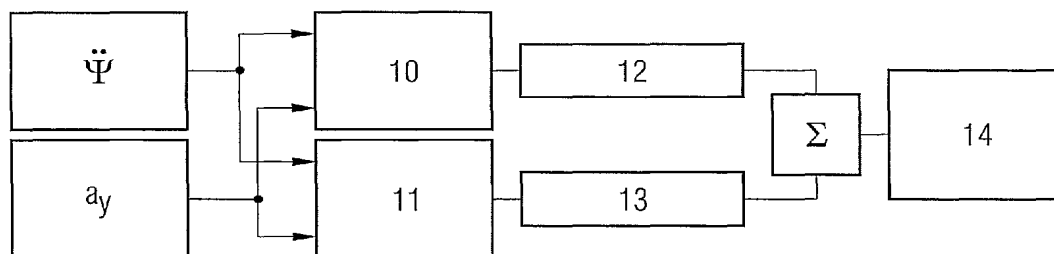
(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **RAAB, Markus**  
[DE/DE]; Römerstrasse 1, 74912 Kirchhardt (DE).  
**STEIN, Alexander** [DE/DE]; Lerchenweg 29, 57642  
Alpenrod (DE).

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: METHOD AND DEVICE FOR DETERMINING A VEHICLE STATE

(54) Bezeichnung: VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUR BESTIMMUNG EINES FAHRZEUGZUSTANDES



(57) Abstract: The invention relates to a method for determining the state of a vehicle, comprising the following steps: estimation of a first state of a vehicle (F) by means of a first vehicle model using predefined parameters ( $\Psi$ ,  $\Psi$ ,  $a_y$ ,  $a_x$ ); estimation of a second state of the vehicle (F) by means of a second vehicle model using said predefined parameters ( $\Psi$ ,  $\Psi$ ,  $a_y$ ,  $a_x$ ); weighted switching from the first vehicle model to the second vehicle model as the vehicle (F) moves from the first state into the second state, in accordance with at least one estimated parameter ( $\phi$ ). The invention also relates to a device for determining the state of a vehicle (F).

(57) Zusammenfassung: Die vorliegende Erfindung stellt ein Verfahren zur Bestimmung eines Fahrzeugzustandes mit den Schritten bereit: Abschätzen eines ersten Zustands eines Fahrzeugs (F) mittels eines ersten Fahrzeugmodells anhand vorbestimmter Parameter ( $\Psi$ ,  $\Psi$ ,  $a_y$ ,  $a_x$ ); Abschätzen eines zweiten Zustands des Fahrzeugs (F) mittels eines zweiten Fahrzeugmodells anhand der vorbestimmten Parameter ( $\Psi$ ,  $\Psi$ ,  $a_y$ ,  $a_x$ ); gewichtetes Umschalten von dem ersten Fahrzeugmodell auf das zweite Fahrzeugmodell beim Übergang des Fahrzeugs (F) von dem ersten Zustand in den zweiten Zustand in Abhängigkeit von mindestens einem abgeschätzten Parameter ( $\phi$ ). Die vorliegende Erfindung stellt ebenfalls eine Vorrichtung zur Bestimmung eines Zustands eines Fahrzeugs (F) bereit.

WO 2005/063536 A1



**Veröffentlicht:**

— mit internationalem Recherchenbericht

*Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.*

## Verfahren und Vorrichtung zur Bestimmung eines Fahrzeugzustandes

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Bestimmung eines Fahrzeugzustandes und insbesondere ein Verfahren bzw. eine Vorrichtung zur Bestimmung von Fahrzeugzuständen, deren Kenntnis zur Stabilisierung eines Fahrzeuges bei Erreichen eines Kippwinkels erforderlich sind.

Bei modernen Kraftfahrzeugen nimmt der Einfluss elektrischer und elektronischer Fahrsicherheitssysteme, wie beispielsweise ESP (Elektronisches Stabilitätsprogramm), welches ein Schleudern eines Fahrzeugs im Rahmen fester physikalischer Grenzen verhindern soll, stetig zu. Mit besagtem ESP-System wird die Gierrate des Fahrzeuges geregelt. Da aus Kostengründen eine Detektion kritischer Fahrzustände bzw. Bewegungszustände des Fahrzeugs mit möglichst wenig Sensormitteln erfolgen soll, ist man bestrebt, Bewegungsgrößen bzw. Bewegungszustände anhand weniger gemessener Parameter bestimmen zu können.

Aus der DE 41 23 053 ist ein Verfahren zur Bestimmung wenigstens einer Bewegungsgröße eines Fahrzeugs bekannt. Dabei wird mit den Messgrößen einer Querbeschleunigung und eines Lenkwinkels an beiden Fahrzeugachsen eine Quergeschwindigkeit

und/oder eine Giergeschwindigkeit des Fahrzeugs oder eine davon abhängige Bewegungsgröße beschrieben. Zur Auswertung der erfassten Messgrößen ist eine Kombination aus zwei adaptiven, äquivalenten Kalman-Filterpaaren vorgesehen, wobei dem einen Filterpaar eine Messgrößensumme und dem anderen Filterpaar eine Messgrößendifferenz zugeführt wird.

In der DE 195 15 055 ist eine Fahrstabilitäts-Regelschaltung mit geschwindigkeitsabhängigem Wechsel des Fahrzeugmodells beschrieben, bei welcher ein Sollwert einer Gierwinkelgeschwindigkeit mit Hilfe eines Fahrzeugmodells errechnet wird. Um einen möglichst genauen Wert sowohl bei sehr hohen, als auch bei sehr niedrigen Geschwindigkeiten mit Hilfe der Fahrzeugmodellschaltung berechnen zu können, sind innerhalb der Fahrzeugmodellschaltung zumindest zwei Fahrzeugmodelle vorgesehen, welchen geeignete Geschwindigkeitsbereiche zugeordnet sind, wobei in Abhängigkeit von dem gerade genutzten Geschwindigkeitsbereich zwischen beiden Modellen umgeschaltet wird. Dabei sind eine Hysterese der beiden Geschwindigkeitsschwellwerte, bei denen umgeschaltet wird, sowie Mittel zur Vermeidung von Sprüngen in dem Ausgangssignal der Fahrzeugmodellschaltung bei einer entsprechenden Umschaltung zwischen den Modellen beschrieben.

Die beiden eben genannten, bekannten Verfahren bzw. Vorrichtungen sind jedoch nicht geeignet, den Übergang von einem ersten Fahrzeugzustand zu einem anderen Fahrzeugzustand bzw. Bewegungszustand des Fahrzeugs, insbesondere von einer Wankbewegung in eine Kippbewegung, zu bestimmen, um so entsprechende Gegenmaßnahmen, beispielsweise durch einen Bremsengriff zur Stabilisierung, insbesondere systemimmanent, auszuführen.

Die der vorliegenden Erfindung zugrunde liegende Aufgabe besteht nun darin, ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Bestimmung eines Fahrzeugzustandes, insbesondere eines Fahrzeugbewegungszustandes, bereitzustellen, womit auf sichere und möglichst eindeutige Weise eine Kippbewegung eines Fahrzeugs identifiziert werden kann.

Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe durch ein Verfahren mit den Merkmalen des Patentanspruchs 1 sowie durch eine Vorrichtung zur Bestimmung eines Fahrzeugzustandes mit den Merkmalen des Patentanspruchs 12 gelöst.

Demgemäß ist vorgesehen:

- Ein Verfahren zur Bestimmung eines Fahrzeugzustandes mit den Verfahrensschritten: Abschätzen eines ersten Zustands eines Fahrzeugs mittels eines ersten Fahrzeugmodells anhand vorbestimmter Parameter; Abschätzen eines zweiten Zustands des Fahrzeugs mittels eines zweiten Fahrzeugmodells anhand der vorbestimmten Parameter; gewichtetes Umschalten von dem ersten Fahrzeugmodell auf das zweite Fahrzeugmodell beim Übergang des Fahrzeugs von dem ersten Zustand in den zweiten Zustand in Abhängigkeit von mindestens einem abgeschätzten Parameter.  
(Patentanspruch 1)
- Eine Vorrichtung zur Bestimmung eines Fahrzeugzustandes, mit einer ersten Schätzeinrichtung zum Abschätzen eines ersten Zustands eines Fahrzeugs mittels eines ersten Fahrzeugmodells anhand vorbestimmter Parameter; mit einer zweiten Schätzeinrichtung zum Abschätzen eines zweiten Zustands des Fahrzeugs mittels eines zweiten Fahrzeugmodells anhand der vorbestimmten Parameter; mit ei-

ner Umschalteinrichtung zum gewichteten Umschalten von dem ersten Fahrzeugmodell auf das zweite Fahrzeugmodell beim Übergang des Fahrzeugs von dem ersten Zustand in den zweiten Zustand in Abhängigkeit von mindestens einem abgeschätzten Parameter. (Patentanspruch 12)

Die der vorliegenden Erfindung zugrunde liegende Idee besteht im Wesentlichen darin, Bewegungszustände eines Fahrzeugs, insbesondere einen Wank- bzw. Kippwinkel, über eine gesamte Wank- bzw. Kippbewegung abzuschätzen, wobei bezüglich der Wankbewegung sowie bezüglich der Kippbewegung jeweils unterschiedliche Fahrzeugmodelle, insbesondere unterschiedliche Kalman-Filter, eingesetzt werden. Die von den Fahrzeugmodellen geschätzten Zustände werden in Abhängigkeit des vorliegenden Wank- bzw. Kippverhaltens gewichtet und überlagert, so dass der Übergang von den Schätzungen des für die Wankbewegung vorgesehenen Fahrzeugmodells zu den Schätzungen des für die Kippbewegung vorgesehenen Fahrzeugmodells fließend erfolgt. Vor allem soll erreicht werden, dass kein Sprung in den Schätzgrößen auftritt. Mit anderen Worten: Der Wankwinkel bzw. der Kippwinkel soll kontinuierlich bzw. stetig über das betrachtete Bewegungsspektrum des Fahrzeuges, d.h. ausgehend von einer Wankbewegung und übergehend in die Kippbewegung, ermittelt werden.

Die vorstehend verwendete Formulierung „vorbestimmte Parameter“ ist wie folgt zu verstehen: Bei diesen Größen handelt es sich um diejenigen Größen, in deren Abhängigkeit die Zustände des Fahrzeuges ermittelt werden. Diese Größen stellen gewissermaßen die Eingangsgrößen für die Fahrzeugmodelle bzw. Kalman-Filter dar. Bei diesen Größen kann es sich um Messgrößen oder um aus Messgrößen durch einfache Umrechnungen hergeleitete Größen handeln.

Sowohl das bezüglich der Wankbewegung als auch das bezüglich der Kippbewegung vorgesehene Fahrzeugmodell verwendet hierbei zur Ermittlung der Zustände des Fahrzeugs jeweils dieselben Größen.

Vorteilhafte Ausgestaltungen und Weiterbildungen der Erfindung sind den Unteransprüchen sowie der Beschreibung unter Bezugnahme auf die Zeichnung entnehmbar.

Gemäß einer bevorzugten Weiterbildung bildet das erste Fahrzeugmodell mittels eines ersten Kalman-Filters und das zweite Fahrzeugmodell mittels eines zweiten Kalman-Filters Bewegungszustände des Fahrzeugs nach.

Gemäß einer weiteren bevorzugten Weiterbildung steht der erste Zustand des Fahrzeuges für eine Wankbewegung des Fahrzeugs und der zweite Zustand des Fahrzeuges für eine Kippbewegung des Fahrzeugs, wobei eine Wankbewegung eine Drehbewegung um eine Fahrzeuglängsachse mit Bodenkontakt aller Räder beschreibt und eine Kippbewegung einer auf die Wankbewegung folgenden Drehbewegung mit Verlust des Bodenkontakts der Räder einer Spur entspricht. Dabei kann die Wankbewegung und/oder die Kippbewegung um die Längsachse des Fahrzeuges oder um eine in Längsrichtung des Fahrzeuges orientierte Achse erfolgen.

Gemäß einer weiteren bevorzugten Weiterbildung wird bei dem gewichteten Umschalten von dem ersten Fahrzeugmodell auf das zweite Fahrzeugmodell das zweite Fahrzeugmodell mit Parametern des Zustands des ersten Fahrzeugmodells initialisiert.

Gemäß einer weiteren bevorzugten Weiterbildung erfolgt die Gewichtung bei dem gewichteten Umschalten in Abhängigkeit ei-

nes geschätzten Winkels, vorzugsweise eines Wank- oder Kippwinkels des Fahrzeugs. Besonders vorteilhaft ist es, wenn die Gewichtung bei der Umschaltung mit einem für zunehmende Werte des geschätzten Winkels ( $\varphi$ ) linearen Anstieg der Gewichtung des zweiten Fahrzeugmodells bei einem gleichzeitigen linearen Abfall der Gewichtung des ersten Fahrzeugmodells erfolgt.

Gemäß einer weiteren bevorzugten Weiterbildung erfolgt die Umschaltung dann, wenn der Winkel zwischen einem ersten vorbestimmten Winkelwert und einem zweiten vorbestimmten Winkelwert liegt, wobei vorzugsweise der erste vorbestimmte Winkelwert einen Fahrzeugwinkel beschreibt, bei welchem ein erstes entlastetes Rad einer Spur abhebt, und der zweite vorbestimmte Winkelwert einen Fahrzeugwinkel beschreibt, bei welchem ein zweites entlastetes Rad derselben Spur den Bodenkontakt verliert.

Gemäß einer weiteren bevorzugten Weiterbildung werden bei der Abschätzung des ersten Zustands als Störgrößen eine Fahrbahnlängsneigung, eine Fahrbahnquerneigung, eine Fahrbahnquerneigungsrate und/oder ein Fahrbahnreibungswert nachgebildet und mit berücksichtigt, wobei die Berücksichtigung der Fahrbahnlängsneigung vorzugsweise in Verbindung mit einer erfassten Längsbeschleunigung des Fahrzeugs erfolgt.

Gemäß einer weiteren bevorzugten Weiterbildung werden die Fahrbahnlängsneigung und die Fahrbahnquerneigungsrate durch einen Markov-Prozess nachgebildet. Die Fahrbahnreibung wird vorteilhafterweise als quasikonstante Größe modelliert.

Gemäß einer weiteren bevorzugten Weiterbildung werden bei Feststellen eines Kippens des Fahrzeugs als Bewegungszustand



einzelne Radbremsen des Fahrzeugs selektiv aktiviert, um eine Stabilisierung des Fahrzeugs zu erzielen.

Gemäß einer weiteren bevorzugten Weiterbildung wird bei der Fahrzeugmodellierung die Fahrzeugmasse, die Lage des Fahrzeugschwerpunktes, der Radstand, die Spurweite und/oder die Wankcharakteristik, insbesondere die Wanksteife, und/oder die Fahrzeugdämpfung berücksichtigt.

Gemäß einer weiteren bevorzugten Weiterbildung werden mittels vom Fahrzeug bereitgestellter Bremsdrücke pro Rad sowie bereitgestellter Radumdrehungszahlen Umfangskräfte einzelner Räder, vorzugsweise mittels eines deterministischen Luenberger-Beobachtersystems geschätzt, woraus eine Fahrzeuglängsbeschleunigung geschätzt.

Gemäß einer weiteren bevorzugten Weiterbildung ist eine Gierbeschleunigungsmesseinrichtung, eine Querbeschleunigungsmesseinrichtung und vorzugsweise eine Längsbeschleunigungsmesseinrichtung und/oder eine Wankratenmesseinrichtung zum Bereitstellen der vorbestimmten Parameter vorgesehen.

Die Erfindung wird nachfolgend anhand der in den schematischen Figuren der Zeichnung angegebenen Ausführungsbeispiele näher erläutert. Es zeigt dabei:

- Fig. 1      ein schematisches Blockdiagramm zur Erläuterung der Funktionsweise einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;
- Fig. 2      ein schematisches Gewichtungsdigramm zur Erläuterung der Funktionsweise einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;
- Fig. 3      eine schematische Seitenansicht eines Kraftfahrzeugs;

- Fig. 4 eine schematische Draufsicht auf ein Kraftfahrzeug;  
und  
Fig. 5 eine schematische Heckansicht eines Kraftfahrzeugs,  
jeweils zur Erläuterung einer Ausführungsform der  
vorliegenden Erfindung.

In den Figuren der Zeichnung sind gleiche bzw. funktionsgleiche Elemente und Merkmale - sofern nichts anderes angegeben ist - mit denselben Bezugszeichen versehen worden.

In Fig. 1 ist schematisch ein Blockdiagramm eines Verfahrensablaufs zur Bestimmung eines Fahrzeugzustandes zur Erläuterung einer bevorzugten Ausführungsform dargestellt. Eine vorzugsweise von einem Beschleunigungssensor gemessene Querschleunigung  $a_y$  in Querrichtung eines Fahrzeugs, das heißt in y-Richtung, wird einer ersten Schätzeinrichtung 10 und einer zweiten Schätzeinrichtung 11 zugeführt. Ebenso wird eine ermittelte Gierbeschleunigung  $\ddot{\Psi}$  ebenfalls einer ersten und zweiten Schätzeinrichtung 10, 11 zugeführt. In den Schätzeinrichtungen 10, 11 erfolgen jeweils separate Zustandsschätzungen anhand von einem ersten Fahrzeugmodell in der ersten Schätzeinrichtung 10 und einem zweiten Fahrzeugmodell in der zweiten Schätzeinrichtung 11. Zur Fahrzeugmodellierung werden sowohl in der ersten als auch in der zweiten Schätzeinrichtung 10, 11 vorzugsweise unterschiedliche Kalman-Filter eingesetzt. In die Fahrzeugmodellierungen mittels der vorzugsweise einzelnen Kalman-Filter fließt sowohl die Masse  $m$  des Fahrzeugs  $F$  als auch die Lage des Schwerpunktes  $S$  im Fahrzeug  $F$ , der Radstand des Fahrzeugs, die Spurweite vorn und hinten sowie die Wankcharakteristik, das heißt insbesondere die Wanksteifigkeit und Dämpfung des Fahrzeugs hinsichtlich einer

Wankbewegung, mit ein. Mit dem ersten Fahrzeugmodell wird der Zustand mittels eines Wankbeobachters abgeschätzt.

Beim zweiten Fahrzeugmodell wird ein Kippbeobachter zur Abschätzung des Bewegungszustands in der zweiten Abschätzeinrichtung 11 eingesetzt. Daraufhin erfolgt eine Gewichtung 12 des von dem Wankbeobachter geschätzten Zustandes sowie eine davon getrennte Gewichtung 13 des von dem Kippbeobachter geschätzten Zustandes. Beide entsprechend gewichteten Bewegungszustandsabschätzungen werden dann in einer Addiereinrichtung  $\Sigma$  addiert, es liegt somit eine kombinierte Zustandsabschätzung 13 vor, die der eines kombinierten Beobachters entspricht. Die Gewichtung 12 des Wankbeobachters und die Gewichtung 13 des Kippbeobachters 13 bei der Zustandsschätzung gehen exemplarisch aus Fig. 2 hervor.

In Fig. 2 ist schematisch ein Gewichtungendiagramm über dem in den Abschätzeinrichtungen 10, 11 abgeschätzten Wank- bzw. Kippwinkel  $|\varphi|$  dargestellt. Die Ordinate weist einen Faktor zwischen 0 und 1 als Gewichtungsfaktor zur Multiplikation mit der entsprechenden Zustandsschätzung des Wankbeobachters oder Kippbeobachters, das heißt des ersten Fahrzeugmodells oder des zweiten Fahrzeugmodells, auf. Gemäß Fig. 2 verläuft die Gewichtung 12 des Wankbeobachters mit dem Faktor 1 bis zu dem Winkelwert  $|\varphi_1|$  und fällt dann linear zwischen dem Winkelwert  $|\varphi_1|$  und dem Winkelwert  $|\varphi_2|$  bis auf 0 ab. Entsprechend steigt die Gewichtung 13 des Kippbeobachters von dem Wert 0 beim Winkelwert  $|\varphi_1|$  linear zum Wert 1 beim Winkelwert  $|\varphi_2|$  an. Beide Gewichtungsfunktionen 12, 13 gemäß Fig. 2 können sowohl zu steigendem  $|\varphi|$  als auch in Richtung kleinerer  $|\varphi|$  durchlaufen

werden. Die Winkelwerte  $|\varphi_1'|$  bzw.  $|\varphi_2'|$  stehen für alternative Winkelwerte, woraus ein weniger steiler Anstieg bzw. Abfall der Gewichtungsfunktionen 12, 13 resultiert. So ist gegebenenfalls bei einer Wank- bzw. Kippbewegung über die linken Räder, d.h. über die linke Spur ein anderer vorbestimmter Winkelwert  $|\varphi_1'|$ ,  $|\varphi_2'|$  zu wählen, als bei einer entsprechenden Bewegung über die rechten Räder, d.h. über die rechte Spur eines Fahrzeugs. Der Winkel  $|\varphi|$  ist ein von den Beobachtersystemen geschätzter Wank- bzw. Kippwinkel, wobei  $|\varphi_1|$  für einen Winkelwert steht, bei welchem ein Rad einer Spur den Bodenkontakt verliert und wobei  $|\varphi_2|$  für einen Winkelwert steht, bei welchem beide Räder einer Spur keinen Bodenkontakt mehr aufweisen.

Zur Stabilisierung einer Kippbewegung von Fahrzeugen F mit hoher Schwerpunktlage kann durch gezielte Bremseingriffe an einzelnen Rädern R eines solchen Fahrzeugs F, wie beispielsweise eines Lastkraftwagens oder eines Transporters, ein Roll-Over bzw. Umkippen oder Überschlagen dieser Fahrzeuge innerhalb vorbestimmter physikalischer Grenzen verhindert werden. Damit ein solches Reglerkonzept effektiv arbeiten kann, ist es erforderlich, dass diesem System verschiedene Fahrzeugzustände zur Analyse zur Verfügung gestellt werden. Solche Zustände können jedoch nur teilweise direkt durch vorhandene Sensoren erfasst bzw. gemessen werden. Deshalb ist es geboten, die darüber hinaus benötigten Zustände des Fahrzeugs mittels eines Beobachterverfahrens abzuschätzen. Als Basisgleichung verschiedener Beobachterverfahren gilt:

$$\begin{aligned}\dot{\hat{x}} &= \hat{f}(\hat{x}, u) + K(\hat{x}, u) \cdot (y - \hat{y}) \\ \hat{y} &= \hat{h}(\hat{x}, u)\end{aligned}\tag{1}$$

Der Unterschied zwischen verschiedenen Beobachterverfahren besteht in der Berechnung der Rückkopplungsmatrix  $K(x, u)$ , wobei gemäß der vorliegenden bevorzugten Ausführungsform ein Kalman-Filter eingesetzt wird, das zur Berechnung der Rückkopplungsmatrix  $K(x, u)$  die stochastischen Eigenschaften des Systems berücksichtigt. Die verschiedenen Kalman-Filter unterscheiden sich hierbei in den Modellgleichungen  $\hat{f}(\hat{x}, u)$  und  $\hat{h}(\hat{x}, u)$ , sodass sich jeweils unterschiedliche Rückkopplungen ergeben. Zur Stabilisierung eines Fahrzeugs bei einem auftretenden Kippwinkel  $\phi$  wird allgemein die Kenntnis der folgenden Fahrzeugzustände vorausgesetzt: Geschwindigkeit in Fahrzeuglängsrichtung  $v_x$ , Geschwindigkeit in Fahrzeugquerrichtung  $v_y$ , der Wank- bzw. Kippwinkel  $\phi$ , sowie die Wank- bzw. Kipptrate  $\dot{\phi}$ . Unter Wankbewegung wird im folgenden eine Drehbewegung um eine Fahrzeuglängsachse, das heißt x-Achse, verstanden, welche durch eine Einfederung eines Fahrzeugs F auf einer Spurseite entsteht. Bei einer Wankbewegung weisen alle Räder R Bodenkontakt auf. Ist eine Spur des Fahrzeugs vom Boden abgehoben, d.h. sind alle Räder einer Fahrzeugseite vom Boden abgehoben, so wird die Drehbewegung um die Fahrzeuglängsachse im nachstehenden als Kippbewegung bzw. Kippen bezeichnet. An dieser Stelle sei angemerkt, dass die Wankbewegung und/oder die Kippbewegung nicht nur um die Fahrzeuglängsachse bzw. x-Achse, sondern auch um eine in Längsrichtung des Fahrzeuges orientierte Achse erfolgen kann.

Um die oben genannten, erforderlichen Fahrzeugzustände über die gesamte Wank- und Kippbewegung eines Fahrzeugs beobachten zu können, werden gemäß einer bevorzugten Ausführungsform

zwei verschiedene Kalman-Filter zur Fahrzeugmodellierung eingesetzt. Dabei übernimmt das erste Kalman-Filter die Schätzung der Fahrzustände während der Wankbewegung, wohingegen das zweite Kalman-Filter die Zustände während der Kippbewegung zur Fahrzeugmodellierung abschätzt. Grundsätzlich ist die Schätzung der benötigten Fahrzeugzustände bei Nutzung eines geeigneten Modells darüber hinaus auch mit einem einzelnen Kalman-Filter möglich. Die Basis für die zur Schätzung der Wankbewegung eingesetzten Filtereinrichtung bilden die folgenden Bewegungsgleichungen der horizontalen Geschwindigkeiten:

$$\begin{aligned}\dot{v}_y &= -\dot{\Psi}v_x + a_y \\ \dot{v}_x &= \dot{\Psi}v_y + a_x\end{aligned}\tag{2}$$

Eine Geschwindigkeitsänderung  $\dot{v}_y$  in y-Richtung entspricht somit dem negativen Produkt aus einer Gierwinkelgeschwindigkeit  $\dot{\Psi}$  und einer Fahrzeuglängsgeschwindigkeit  $v_x$  in Addition mit einer Beschleunigung  $a_y$  in y-Richtung. Außerdem gleicht eine Geschwindigkeitsänderung  $\dot{v}_x$  in x-Richtung dem Produkt aus der Gierwinkelgeschwindigkeit  $\dot{\Psi}$  und der Fahrzeuggeschwindigkeit  $v_y$  in Querrichtung plus einer Beschleunigung  $a_x$  in Längsrichtung. Nutzt man innerhalb dieser beiden Gleichungen die mittels Sensoren gemessenen horizontalen Beschleunigungen  $a_y$ ,  $a_x$  als Eingangssignale, so ergeben sich nach einer Transformation aus einem fahrzeugfesten in ein fahrbahnfestes Koordinatensystem bzw. Bezugssystem folgende linearisierte Systemgleichungen für das Wankfilter:

$$\begin{aligned}\dot{v}_x &= \dot{\Psi} v_y + g(\theta + \Theta) + a_x^{sensor} \\ \dot{v}_y &= -\dot{\Psi} v_x - g(\varphi + \Phi) + a_y^{sensor}\end{aligned}\quad (3)$$

Im Vergleich zum Gleichungssystem (2) kommt für den Term in Fahrzeuglängsrichtung das Produkt aus der Erdbeschleunigung  $g$  mit der Summe aus einem Fahrzeugnickenwinkel  $\theta$  und einer Fahrbahnsteigung  $\Theta$  hinzu. Bei der Bewegungsgleichung in  $y$ -Richtung ergibt sich ein subtraktiver Zusatzterm als Produkt aus der Erdbeschleunigung  $g$  mit der Summe aus dem Wankwinkel  $\varphi$  gemessen über der Fahrbahn plus der Fahrbahnquerneigung  $\Phi$ . Als weitere Basisgleichung dient eine Differenzialgleichung der Wankdynamik, welche bei kleinen Wankwinkeln gilt und aus dem Drallsatz um die Fahrzeuglängsachse resultiert:

$$\ddot{\varphi} = \frac{\Delta h_s (F_{sv} + F_{sh} + m(a_z + g)\varphi) + M_w}{J_{xx}} \quad (4)$$

wobei  $\ddot{\varphi}$  für die Wankwinkelbeschleunigung  $\Delta h_s$  für eine Schwerpunktverlagerung,  $F_{sv}$  für die vordere Seitenkraft der Räder,  $F_{sh}$  für die Seitenkraft der Räder  $R$  der Hinterachse  $A_h$ ,  $m$  für die Fahrzeugmasse,  $a_z$  für die Beschleunigung in  $Z$ -Richtung, welches der Hochachse im Fahrzeug  $F$  entspricht,  $M_w$  einem Wankmoment und  $J_{xx}$  einem Trägheitsmoment um die Fahrzeuglängsachse entspricht. Lässt man bei dieser Gleichung das Wankmoment  $M_w$  einfließen mit:

$$M_w = -c_\varphi \cdot \varphi - d_\varphi \cdot \dot{\varphi} \quad (5)$$

wobei  $c_\varphi$  und  $d_\varphi$  vorbestimmte konstante oder gegebenenfalls auch vom Wank- bzw. Kippwinkel abhängige Größen darstellen,

drückt man die Seitenkräfte der Räder  $F_{sv}$ ,  $F_{sh}$  durch die Querbeschleunigung aus entsprechend:

$$F_{sv} + F_{sh} = m(a_y + g\Phi) \quad (6)$$

so ergibt sich die linearisierte Systemgleichung für die Wankdynamik innerhalb des Fahrzeugmodells, vorzugsweise innerhalb des Kalman-Filters, zu:

$$\ddot{\phi} = -\frac{c_\phi}{J_{xx}}\phi - \frac{d_\phi}{J_{xx}}\dot{\phi} + \frac{\Delta h_s m}{J_{xx}}a_y^{sensor} + w_\phi(t) \quad (7)$$

wobei der Term  $w_\phi(t)$  für einen von der Zeit abhängigen Störgrößenterm steht, entsprechend einem stochastischen Rauschen. Als Störgrößen werden des weiteren die Fahrbahnlängsneigung  $\Theta$ , die Fahrbahnquerneigung  $\Phi$ , die Fahrbahnquerneigungsrate  $\dot{\Phi}$  sowie der Fahrbahnreibungwert  $\mu$  modelliert. Vorzugsweise werden dabei die Fahrbahnlängsneigung  $\Theta$  und die Fahrbahnquerneigungsrate  $\dot{\Phi}$  durch einen Markov-Prozess entsprechend einem farbigen Rauschen nachgebildet, welches sich auf ein weißes Rauschen zurückführen lässt, da es sich bei diesen beiden Größen um stochastische, korrelierte Größen handelt. Der Fahrbahnreibungwert  $\mu$  wird insbesondere als quasikonstante Größe modelliert.

Anhand der Figuren 3, 4, 5a und 5b werden schematisch die Richtungen bzw. Winkel der verschiedenen Größen illustriert. In Fig. 3 ist eine Fahrzeuggeschwindigkeit  $v_x$  in Fahrzeuglängsrichtung dargestellt, welche exemplarisch am Fahrzeugschwerpunkt S angreift, auf welchen die Gewichtskraft  $m \cdot g$  radial zum Erdmittelpunkt wirkt. Der Fahrzeugbewegung in  $v_x$ -Richtung wirkt eine Reifenreibungskraft entgegen, welche ex-



emplarisch durch den Fahrbahnreibwert  $\mu$  veranschaulicht ist. Eine mögliche Fahrbahnlängsneigung mit dem Neigungswinkel  $\Theta$  geht ebenfalls aus der schematischen Seitenansicht gemäß Fig. 3 hervor. In der schematischen Draufsicht nach Fig. 4 ist wiederum die Fahrzeuggeschwindigkeit  $v_x$  in Fahrzeuglängsrichtung sowie eine Geschwindigkeit  $v_y$  in Fahrzeugquerrichtung dargestellt. Darüber hinaus ist am Schwerpunkt S angreifend eine Gierrate  $\dot{\Psi}$  sowie eine Gierbeschleunigung  $\ddot{\Psi}$  beispielhaft verdeutlicht. Fig. 5a und 5b verdeutlicht den Fahrzeugneigungswinkel  $\phi$  sowie die Neigungswinkelrate  $\dot{\phi}$  und Neigungswinkelbeschleunigung  $\ddot{\phi}$  sowie nochmals die Fahrzeugquergeschwindigkeit  $v_y$  mit einer entsprechend in die entgegengesetzte Richtung dargestellten Reibungskraft, welche abhängig von dem Fahrbahnreibwert  $\mu$  auf die Fahrzeugräder R wirkt. Das Fahrzeug F ist auf der Fahrbahn B gemäß Fig. 5a in horizontaler Richtung ausgerichtet, wobei die Fahrbahn B auch einen Fahrbahnquerneigungswinkel  $\Phi$  aufweisen kann.

Die Messgleichungen des für die Wankbewegung zuständigen Fahrzeugmodells bzw. Kalman-Filters gehen aus der Anwendung des Impulssatzes und des Drallsatzes hervor und lauten entsprechend:

$$\begin{aligned} a_y^{sensor} &= (F_{Sv} + F_{Sh})/m + g\phi + v_{a_y} \\ a_x^{sensor} &= (F_{Uv} + F_{Uh})/m - g\theta + v_{a_x} \\ \ddot{\Psi}^{sensor} &= (l_v F_{Sv} - l_h F_{Sh} + M_B)/J_{ZZ} + v_{\Psi} \end{aligned} \quad (8)$$

wobei  $v_{a_y}$ ,  $v_{a_x}$  sowie  $v_{\Psi}$  einem Messrauschen der entsprechend mit einem Sensor gemessenen Größen  $a_y^{sensor}$ ,  $a_x^{sensor}$  sowie  $\ddot{\Psi}^{sensor}$  entspricht. Den Seitenkräften  $F_{Sv}$  und  $F_{Sh}$  der Reifen in Querrichtung, das heißt in y-Richtung, entspricht eine Umfangs-

kraft  $F_{uv}$  und  $F_{uh}$  der Reifen in Fahrzeuglängsrichtung, das heißt in x-Richtung. In die Gierbeschleunigung  $\ddot{\Psi}^{sensor}$  fließen die Seitenkräfte  $F_{sv}$  sowie  $F_{sh}$  jeweils multipliziert mit dem Abstand  $l_v$  sowie  $l_h$  zwischen dem Schwerpunkt S und der vorderen Fahrzeugachse  $A_v$  sowie der hinteren Fahrzeugachse  $A_h$  gemäß Fig. 3 ein. Das Drehmoment  $M_B$  entspricht einem den Umfangskräften  $F_{uv,h}$  mit Radius zum Schwerpunkt S wirkenden Drehmoment.  $J_{zz}$  verdeutlicht ein Trägheitsmoment in z-Richtung, das heißt um die Hochachse des Fahrzeugs F. Die Gierbeschleunigung  $\ddot{\Psi}^{sensor}$  kann dabei aus der Gierrate  $\dot{\Psi}$  zum Beispiel mittels eines DT<sub>1</sub>-Filters ermittelt werden.

Geht das Fahrzeug F von der Wankbewegung in die Kippbewegung gemäß Fig. 5b über, so wird die Schätzung der Zustände gemäß Fig. 1 und 2 auf das zweite Fahrzeugmodell, insbesondere das zweite Kalman-Filter, übertragen. Zur Verkürzung der Einschwingphase dieses zweiten Filters wird er mit den bis dato geschätzten Zuständen des für die Wankbewegung zuständigen ersten Filters initialisiert. Der Übergang von den Schätzungen des für die Wankbewegung zuständigen ersten Filters auf die Schätzungen des für die Kippbewegung zuständigen zweiten Filters erfolgt mittels einer gewichteten Filterumschaltung gemäß Fig. 2. Innerhalb dieser Umschaltung werden die von beiden Fahrzeugmodellen bzw. Kalman-Filtern geschätzten Zustände in Abhängigkeit des Wank- bzw. Kippwinkels  $|\varphi|$  gewichtet und anschließend in der Additionseinrichtung  $\Sigma$  gemäß Fig. 1 addiert. Die Gewichtsfunktion gemäß Fig. 2 lautet dabei:

$$\hat{x}_{gB} = \hat{x}_{wank} (1 - \varepsilon) + \hat{x}_{kipp} \cdot \varepsilon \quad (9)$$

$$\text{mit: } \varepsilon = \begin{cases} 0 & , |\varphi| < |\varphi_1| \\ \frac{(\varphi - \varphi_1)}{(\varphi_2 - \varphi_1)} & , |\varphi_1| \leq |\varphi| \leq |\varphi_2| \\ 1 & , |\varphi| > |\varphi_2| \end{cases} \quad (9)$$

Hierbei legen die beiden Winkel  $\varphi_1$ ,  $\varphi_2$  den Bereich fest, in dem die gewichtete Umschaltung vollzogen wird (siehe Fig. 2).  $\varphi_1$  ist der Winkel des Fahrzeugs F, bei dem das erste Rad R der entlasteten Spur abhebt, der Winkel  $\varphi_2$  kennzeichnet den Winkel, bei dem auch das zweite Rad R dieser Spur den Bodenkontakt verliert. Innerhalb dieses Bereiches zwischen  $\varphi_1$  und  $\varphi_2$  besteht keine eindeutige Zuordnung, wohingegen außerhalb dieses Bereiches eine eindeutige Zuordnung zu einem der beiden Fahrzeugmodelle, vorzugsweise Kalman-Filter, besteht. Durch dieses gleichmäßige Überblenden der Zustände von einem auf das andere Fahrzeugmodell bzw. Filter, kann ein sprungfreier stetiger Übergang der Zustandsschätzung erreicht werden.

Die Basis für die Systemgleichung des für die Kippbewegung zuständigen Fahrzeugmodells, vorzugsweise Kalman-Filters, bilden ebenfalls der Impuls- und der Drallsatz. Beachtenswert dabei ist, dass sich die Systemgleichung im Gegensatz zu dem für die Wankbewegung zuständigen Fahrzeugmodell bzw. Filter, für die Kippbewegung über die linke und die rechte Seite des Fahrzeugs F unterscheiden. Auch innerhalb der Systemgleichung des für die Kippbewegung zuständigen zweiten Fahrzeugmodells bzw. Filters werden hochgradig nicht lineare Reifenkräfte durch Werte von Beschleunigungssensoren ersetzt. Verallgemeinert geschrieben ergeben sich die Systemgleichungen dieses zweiten Kalman-Filters zu:

$$\begin{aligned}
a_y = \dot{v}_y &= \frac{dv_y}{dt} = -\frac{1}{\cos \varphi} \left\{ \dot{\Psi}_{sensor} v_x - \frac{1}{\xi(\varphi)} \xi(a_y^{sensor}, \varphi, \dot{\varphi}, \dot{\Psi}_{sensor}) \right\} + w_{vy} \\
a_x = \dot{v}_x &= \frac{dv_x}{dt} = \frac{\dot{\Psi}_{sensor} \cdot v_y}{\cos \varphi} + a_x^{kor} + g\Theta + w_{vx} \\
\ddot{\varphi} &= \frac{d\dot{\varphi}}{dt} = \frac{1}{\mathcal{G}(\varphi)} \cdot \lambda(\varphi, \dot{\varphi}, a_y^{sensor}, \dot{\Psi}_{sensor}) + w_{\dot{\varphi}}
\end{aligned} \tag{10}$$

wobei die Terme  $w_{vy}$ ,  $w_{vx}$  und  $w_{\dot{\varphi}}$  eine Rauschkomponente der entsprechenden Zustände wiedergibt und  $\xi, \mathcal{G}, \lambda$  Ist-Größen darstellen. Die Systemgleichungen der einzelnen Störgrößen  $w_{vy}$ ,  $w_{vx}$ ,  $w_{\dot{\varphi}}$  entsprechen denen des für die Wankbewegung zuständigen Fahrzeugmodells bzw. Kalman-Filters. Die Fahrbahnquerneigung  $\Phi$  und Fahrbahnquerneigungsrate  $\dot{\Phi}$  können mit diesem Filter jedoch nicht geschätzt werden, da bei kippendem Fahrzeug F keinerlei Unterschied zwischen den Auswirkungen der Fahrbahnquerneigung und dem Kippwinkel bestehen. Diese beiden Störgrößen sind somit nicht beobachtbar. Auch innerhalb dieses Filters werden die aus den Reifenkennlinien stammenden Nicht-Linearitäten in die Messgleichung überführt. Die verallgemeinerten Messgleichungen des für die Kippbewegung zuständigen zweiten Filters ergeben sich aus dem Impuls- und Drallsatz zu:

$$\begin{aligned}
a_x^{sensor} &= \frac{\sum_{i=1}^n F_{Rx,i}}{m(1+\theta_0)} + v_{a_x} \\
a_y^{sensor} &= \frac{\sum_{i=1}^n F_{Ry,i} \cdot \cos \varphi}{m} + \frac{\sin \varphi}{\eta(\varphi)} \sigma(\varphi, \dot{\Psi}_{sensor}, F_{Ry,i}, \dot{\varphi}) + v_{a_y} \\
\ddot{\Psi}_{sensor} &= \frac{\cos \varphi}{J_{yy} \sin^2 \varphi + J_{zz} \cos^2 \varphi} \varepsilon(\varphi, \dot{\Psi}_{sensor}, \dot{\varphi}, F_{Rx,i}, F_{Ry,i}, M_{Rz,i}) + v_{\ddot{\Psi}} \\
\dot{\varphi}_{sensor} &= \dot{\varphi} + v_{\dot{\varphi}}
\end{aligned} \tag{11}$$

wobei  $\theta_0$  einen statischen Nickwinkelanteil und der Term  $\frac{\sin \varphi}{\eta(\varphi)} \sigma$  einen Erdbeschleunigungsanteil sowie  $M_{Rz,i}$  ein Rückstellmoment wiedergibt. Alle Größen sind hier auf ein horizontales Koordinatensystem umgerechnet, woraus die  $\sin \varphi, \cos \varphi$  Anteile folgern. Anstatt die Gierbeschleunigung  $\ddot{\Psi}_{\text{sensor}}$  als Messgröße zu verwenden, kann die Gierrate  $\dot{\Psi}$  sowohl als Zustandsgröße als auch als Messgröße definiert werden. Dadurch werden zwar die Filtergleichungen des Wankbeobachters, das heißt des ersten Fahrzeugmodells bzw. Kalman-Filters, nicht-linear, allerdings kann somit die Sensoreigenschaft, insbesondere das Messrauschen, im Filter genauer berücksichtigt werden.

Unter Nutzung der von einem vorzugsweise vorhandenen ESP-System (Elektronisches Stabilitätsprogramm) bereitgestellten Bremsdrücke pro Rad, sowie der Kenntnis der Umdrehungsgeschwindigkeiten der einzelnen Räder R, lassen sich die Umfangskräfte  $F_{Uh,v}$  der einzelnen Räder R des Fahrzeugs F schätzen. Dies geschieht vorzugsweise mittels eines deterministischen Luenberger-Beobachters. Dessen geschätzte Umfangskräfte  $F_U$  können innerhalb der beiden Fahrzeugmodelle bzw. Kalman-Filter prinzipiell dazu genutzt werden, den Längsbeschleunigungssensor zur Messung der Beschleunigung in x-Richtung, das heißt  $a_x^{\text{sensor}}$  zu ersetzen. Außerdem können mit Hilfe der geschätzten Umfangskräfte  $F_U$  vier zusätzliche Messgleichungen innerhalb der Kalman-Filter eingeführt werden. Darüber hinaus werden die Normalkräfte der einzelnen Räder R des Fahrzeugs F mittels eines statischen Modells oder mittels eines dynamischen Modells berechnet. Diese berechneten Normalkräfte werden für das innerhalb der beiden Kalman-Filter genutzte Reifenmodell benötigt.

Mit Hilfe der vorliegenden Erfindung kann somit auf einen Bewegungszustand, insbesondere ein Wanken bzw. Kippen eines Fahrzeugs anhand einer Beschleunigungsinformation einer Beschleunigung in y-Richtung  $a_y$ , einer Gierbeschleunigung  $\ddot{\Psi}$  sowie gegebenenfalls einem Beschleunigungswert in x-Richtung  $a_x$  auf den Fahrzeugzustand, insbesondere den Wank- bzw. Kippwinkel  $\phi$  geschlossen werden. Bei der Modellierung eines Lastkraftwagens, bei welchem durch die Beladung eine erhebliche Schwerpunktverschiebung erfolgt ist darüber hinaus die Wankrate  $\dot{\phi}$  zur Nachbildung der Fahrzeugzustände erforderlich.

Obwohl die vorliegende Erfindung vorstehend anhand bevorzugter Ausführungsbeispiele beschrieben wurde, ist sie darauf nicht beschränkt, sondern auf vielfältige Weise modifizierbar. So ist grundsätzlich auch eine andere Gewichtung als die mit Bezug auf Fig. 2 dargestellte lineare Gewichtung der entsprechenden Fahrzeugmodelle beim Übergang denkbar. Theoretisch kann die Fahrzeugmodellierung auch mittels eines einzigen Kalman-Filters bereitgestellt werden, dessen Parameter entsprechend zur Fahrzeugmodellierung angepasst werden.

Abschließend sei auf Folgendes hingewiesen: Die in den vorliegenden Ausführungen verwendeten Begriffe „Fahrzeugzustand“, „Zustand eines Fahrzeuges“, „Fahrzeugbewegungszustand“ und „Bewegungszustand“ werden allesamt synonym verwendet. Ist beispielsweise von der Bestimmung eines Fahrzeugzustandes die Rede, so ist gemäß den vorliegenden Ausführungsbeispielen die Ermittlung eines Wankwinkels oder Kippwinkels als Fahrzeugbewegungsgröße gemeint.

## Patentansprüche

1. Verfahren zur Bestimmung eines Fahrzeugzustandes mit den Verfahrensschritten:

Abschätzen eines ersten Zustands eines Fahrzeugs (F) mittels eines ersten Fahrzeugmodells anhand vorbestimmter Parameter  $(\dot{\Psi}, \ddot{\Psi}, a_y, a_x)$ ;

Abschätzen eines zweiten Zustands des Fahrzeugs (F) mittels eines zweiten Fahrzeugmodells anhand der vorbestimmten Parameter  $(\dot{\Psi}, \ddot{\Psi}, a_y, a_x)$ ;

gewichtetes Umschalten von dem ersten Fahrzeugmodell auf das zweite Fahrzeugmodell beim Übergang des Fahrzeugs (F) von dem ersten Zustand in den zweiten Zustand in Abhängigkeit von mindestens einem abgeschätzten Parameter  $(\varphi)$ .

2. Verfahren nach Anspruch 1,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass das erste Fahrzeugmodell mittels eines ersten Kalman-Filters und das zweite Fahrzeugmodell mittels eines

zweiten Kalman-Filters Bewegungszustände des Fahrzeugs (F) nachbildet.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass der erste Zustand des Fahrzeuges für eine Wankbewegung des Fahrzeugs (F) und der zweite Zustand des Fahrzeuges für eine Kippbewegung des Fahrzeugs (F) steht, wobei eine Wankbewegung eine Drehbewegung um eine Fahrzeuglängsachse mit Bodenkontakt aller Räder beschreibt und wobei eine Kippbewegung einer auf die Wankbewegung folgenden Drehbewegung mit Verlust des Bodenkontakts zumindest der Räder (R) einer Spur entspricht.
4. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass bei dem gewichteten Umschalten von dem ersten Fahrzeugmodell auf das zweite Fahrzeugmodell das zweite Fahrzeugmodell mit Parametern ( $\dot{\Psi}, \ddot{\Psi}, a_y, a_x$ ) des Zustands des ersten Fahrzeugmodells initialisiert wird.
5. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Gewichtung bei dem gewichteten Umschalten in Abhängigkeit eines geschätzten Winkels ( $\varphi$ ), vorzugsweise eines Wank- oder Kippwinkels des Fahrzeugs (F) erfolgt, insbesondere mit einem für zunehmende Werte des geschätzten Winkels ( $\varphi$ ) linearen Anstieg der Gewichtung des zweiten Fahrzeugmodells bei einem gleichzeitigen linearen Abfall der Gewichtung des ersten Fahrzeugmodells.



6. Verfahren nach Anspruch 5,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass die gewichtete Umschaltung dann erfolgt, wenn der Winkel ( $\varphi$ ) zwischen einem ersten vorbestimmten Winkelwert ( $\varphi_1$ ) und einem zweiten vorbestimmten Winkelwert ( $\varphi_2$ ) liegt, wobei vorzugsweise der erste vorbestimmte Winkelwert ( $\varphi_1$ ) einen Fahrzeugwinkel beschreibt, bei welchem ein erstes entlastetes Rad (R) einer Spur abhebt, und der zweite vorbestimmte Winkelwert ( $\varphi_2$ ) einen Fahrzeugwinkel beschreibt, bei welchem ein zweites entlastetes Rad (R) derselben Spur den Bodenkontakt verliert.
7. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass bei der Abschätzung des ersten Zustands als Störgrößen eine Fahrbahnlängsneigung ( $\Theta$ ), eine Fahrbahnquerneigung ( $\Phi$ ), eine Fahrbahnquerneigungsrate ( $\dot{\Phi}$ ) und/oder ein Fahrbahnreibungswert ( $\mu$ ) nachgebildet und berücksichtigt werden.
8. Verfahren nach Anspruch 7,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass die Fahrbahnlängsneigung ( $\Theta$ ) und die Fahrbahnquerneigungsrate ( $\dot{\Phi}$ ) durch einen Markov-Prozess nachgebildet und die Fahrbahnreibung ( $\mu$ ) als quasikonstante Größe modelliert werden.
9. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass bei Feststellen eines Kippens des Fahrzeugs (F) als Bewegungszustand einzelne Radbremsen des Fahrzeugs (F)

selektiv aktiviert werden, um eine Stabilisierung des Fahrzeugs (F) zu erzielen.

10. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass bei der Fahrzeugmodellierung die Fahrzeugmasse (m), die Lage des Fahrzeugschwerpunktes (S), der Radstand, die Spurweite und/oder die Wankcharakteristik, insbesondere die Wanksteife, und/oder die Fahrzeugdämpfung berücksichtigt wird.
11. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass mittels vom Fahrzeug (F) bereitgestellter Bremsdrücke pro Rad (R) sowie mittels bereitgestellter Radumdrehungszahlen Umfangskräfte einzelner Räder (R), vorzugsweise mittels eines deterministischen Luenberger- Beobachtersystems, geschätzt werden, woraus eine Fahrzeuglängsbeschleunigung ( $a_x$ ) geschätzt wird.
12. Vorrichtung zur Bestimmung eines Fahrzeugzustandes, insbesondere zum Betreiben eines Verfahrens nach einem der vorangehenden Ansprüche, mit:

einer ersten Schätzeinrichtung zum Abschätzen eines ersten Zustands eines Fahrzeugs (F) mittels eines ersten Fahrzeugmodells anhand vorbestimmter Parameter

$(\dot{\Psi}, \ddot{\Psi}, a_y, a_x) ;$

einer zweiten Schätzeinrichtung zum Abschätzen eines zweiten Zustands des Fahrzeugs (F) mittels eines zweiten

Fahrzeugmodells anhand der vorbestimmten Parameter

$(\dot{\Psi}, \ddot{\Psi}, a_y, a_x)$ ;

einer Umschalteinrichtung zum gewichteten Umschalten von dem ersten Fahrzeugmodell auf das zweite Fahrzeugmodell beim Übergang des Fahrzeugs (F) von dem ersten Zustand in den zweiten Zustand in Abhängigkeit von mindestens einem abgeschätzten Parameter ( $\varphi$ ).

13. Vorrichtung nach Anspruch 12,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass eine Gierbeschleunigungsmesseinrichtung, eine Querbeschleunigungsmesseinrichtung und vorzugsweise eine Längsbeschleunigungsmesseinrichtung und/oder eine Wankratenmesseinrichtung zum Bereitstellen der vorbestimmten Parameter vorgesehen ist.

Fig. 1

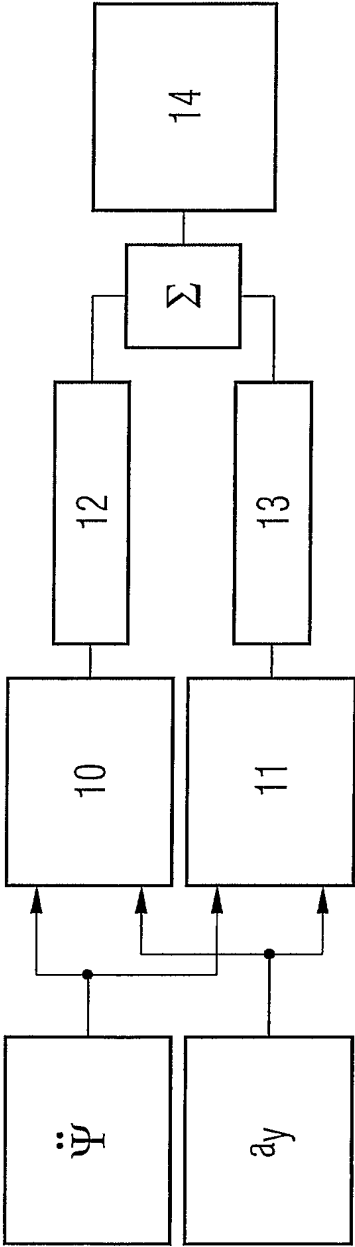
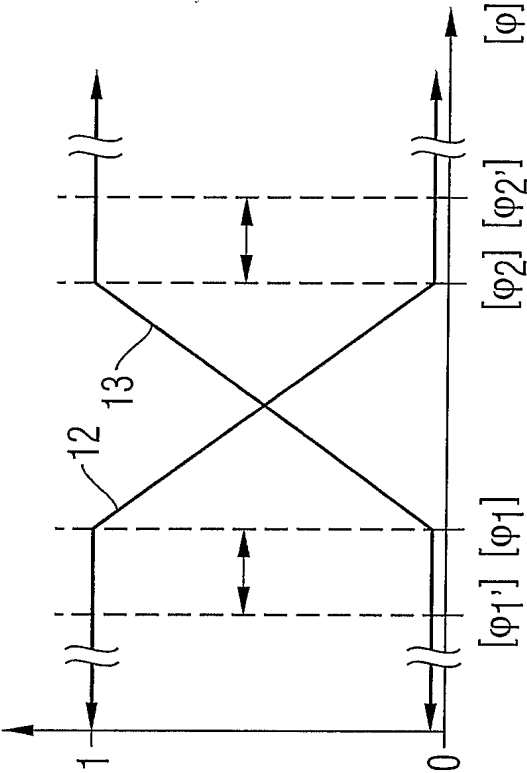


Fig. 2



2/3

Fig. 3

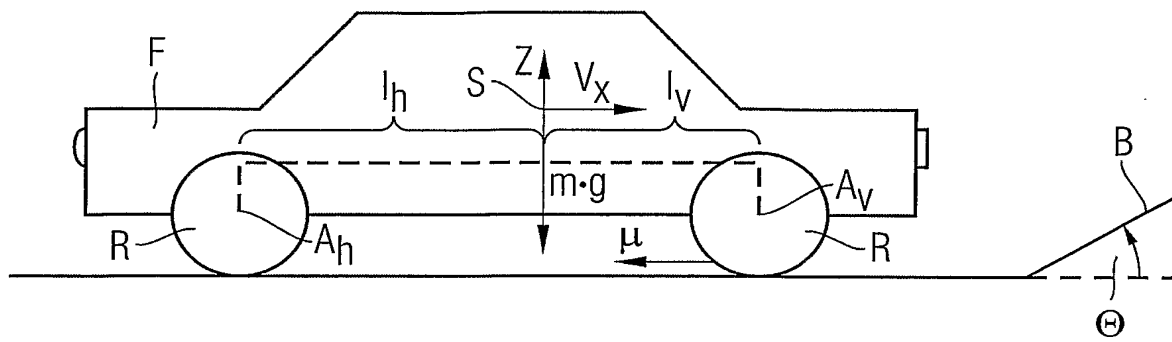


Fig. 4

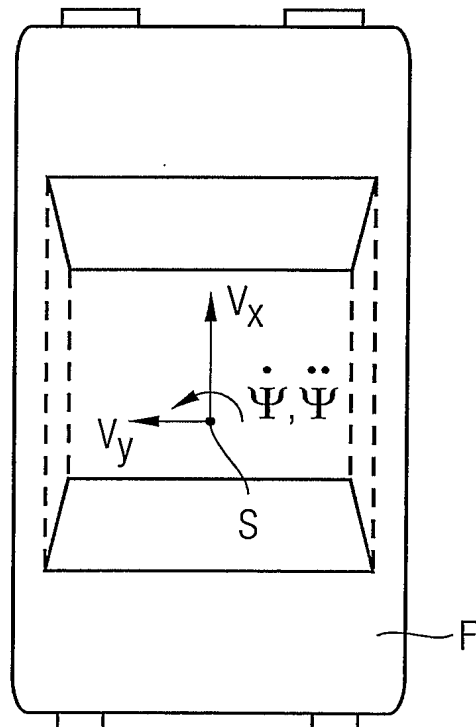


Fig. 5A

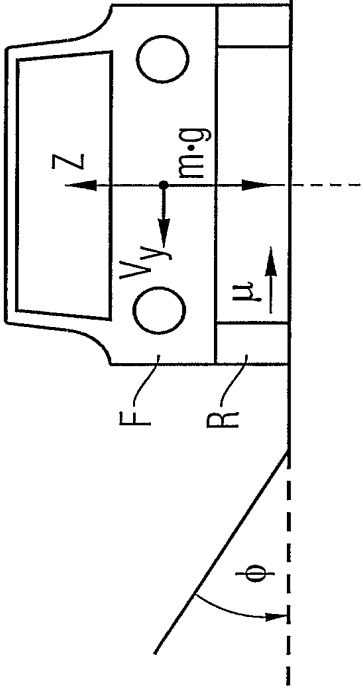
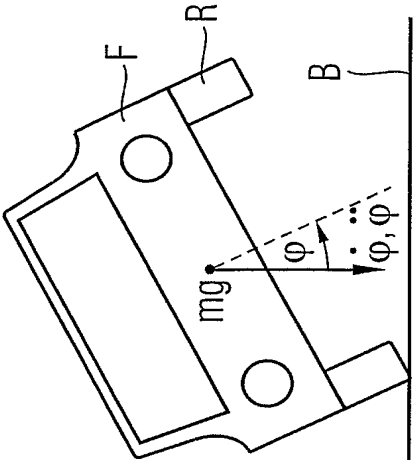


Fig. 5B



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/EP2004/014528

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC 7 B60T8/00

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 B60T B60G

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data, PAJ

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	DE 195 15 055 A1 (ITT AUTOMOTIVE EUROPE GMBH, 60488 FRANKFURT, DE) 30 May 1996 (1996-05-30) cited in the application	1,4, 11-13
Y	claims 1-6	2,3,9,10
A	figures 1,9	5,7
Y	EP 0 826 576 A (FORD GLOBAL TECHNOLOGIES, INC) 4 March 1998 (1998-03-04) page 8, line 45 - page 9, line 22	2
Y	EP 0 758 601 A (MAN NUTZFAHRZEUGE AKTIENGESELLSCHAFT) 19 February 1997 (1997-02-19) claims 3,6,8	3,9,10
	----- -/--	



Further documents are listed in the continuation of box C.



Patent family members are listed in annex.

\* Special categories of cited documents :

\*A\* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

\*E\* earlier document but published on or after the international filing date

\*L\* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

\*O\* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

\*P\* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

\*T\* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

\*X\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

\*Y\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

\*&amp;\* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

18 March 2005

Date of mailing of the international search report

04/04/2005

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Colonna, M

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No  
PCT/EP2004/014528

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category °	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	DE 43 40 932 A1 (ROBERT BOSCH GMBH, 70469 STUTTGART, DE) 8 June 1995 (1995-06-08) column 5, line 19 - line 24 claims 5,6	1,12
A	US 6 424 907 B1 (RIETH PETER ET AL) 23 July 2002 (2002-07-23) claim 1	1,12



# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/EP2004/014528

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
DE 19515055	A1	30-05-1996	AU 4175896 A	19-06-1996
			AU 4175996 A	19-06-1996
			AU 4176096 A	19-06-1996
			AU 4176196 A	19-06-1996
			AU 4256196 A	19-06-1996
			AU 4256296 A	19-06-1996
			CN 1166810 A	03-12-1997
			CN 1166811 A , C	03-12-1997
			CN 1166812 A	03-12-1997
			CN 1166813 A	03-12-1997
			CN 1167466 A	10-12-1997
			CZ 9701585 A3	12-11-1997
			CZ 9701586 A3	12-11-1997
			CZ 9701587 A3	12-11-1997
			CZ 9701588 A3	12-11-1997
			CZ 9701589 A3	17-12-1997
			DE 19515046 A1	27-06-1996
			DE 19515047 A1	30-05-1996
			DE 19515048 A1	30-05-1996
			DE 19515050 A1	30-05-1996
			DE 19515051 A1	30-05-1996
			DE 19515053 A1	30-05-1996
			DE 19515054 A1	30-05-1996
			DE 19515056 A1	30-05-1996
			DE 19515057 A1	30-05-1996
			DE 19515058 A1	30-05-1996
			DE 19515059 A1	30-05-1996
			DE 19515060 A1	30-05-1996
			DE 19515061 A1	30-05-1996
			DE 59504098 D1	03-12-1998
			DE 59507826 D1	23-03-2000
			DE 59508631 D1	14-09-2000
			DE 59509013 D1	15-03-2001
			DE 59510096 D1	11-04-2002
			WO 9616846 A1	06-06-1996
			WO 9616847 A1	06-06-1996
			WO 9616848 A1	06-06-1996
			WO 9616849 A1	06-06-1996
			WO 9616850 A1	06-06-1996
			WO 9616851 A1	06-06-1996
			EP 0792225 A1	03-09-1997
			EP 0792226 A1	03-09-1997
			EP 0792227 A1	03-09-1997
			EP 0792228 A1	03-09-1997
			EP 0794885 A1	17-09-1997
			EP 0792229 A1	03-09-1997
			HU 77229 A2	02-03-1998
			HU 77226 A2	02-03-1998
			HU 77231 A2	02-03-1998
EP 0826576	A	04-03-1998	US 5878357 A	02-03-1999
			EP 0826576 A2	04-03-1998
EP 0758601	A	19-02-1997	DE 19529539 A1	13-02-1997
			DE 59608299 D1	10-01-2002
			EP 0758601 A2	19-02-1997
DE 4340932	A1	08-06-1995	JP 7186786 A	25-07-1995

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/EP2004/014528

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 6424907	B1	23-07-2002	
		DE 19904216 A1	20-01-2000
		DE 59902209 D1	05-09-2002
		WO 0003900 A1	27-01-2000
		EP 1097069 A1	09-05-2001
		JP 2002520605 T	09-07-2002
-----			

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES  
IPK 7 B60T8/00

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

**B. RECHERCHIERTE GEBIETE**

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

IPK 7 B60T B60G

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, WPI Data, PAJ

**C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN**

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	DE 195 15 055 A1 (ITT AUTOMOTIVE EUROPE GMBH, 60488 FRANKFURT, DE) 30. Mai 1996 (1996-05-30) in der Anmeldung erwähnt	1,4, 11-13
Y	Ansprüche 1-6	2,3,9,10
A	Abbildungen 1,9	5,7
Y	EP 0 826 576 A (FORD GLOBAL TECHNOLOGIES, INC) 4. März 1998 (1998-03-04) Seite 8, Zeile 45 - Seite 9, Zeile 22	2
Y	EP 0 758 601 A (MAN NUTZFAHRZEUGE AKTIENGESSELLSCHAFT) 19. Februar 1997 (1997-02-19) Ansprüche 3,6,8	3,9,10
	----- -/--	



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



Siehe Anhang Patentfamilie

\* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

\*A\* Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

\*E\* älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

\*L\* Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

\*O\* Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

\*P\* Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

\*T\* Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

\*X\* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

\*Y\* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

\*Z\* Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

18. März 2005

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

04/04/2005

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde  
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Colonna, M

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie°	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	DE 43 40 932 A1 (ROBERT BOSCH GMBH, 70469 STUTTGART, DE) 8. Juni 1995 (1995-06-08) Spalte 5, Zeile 19 - Zeile 24 Ansprüche 5,6 -----	1,12
A	US 6 424 907 B1 (RIETH PETER ET AL) 23. Juli 2002 (2002-07-23) Anspruch 1 -----	1,12

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2004/014528

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 19515055	A1	30-05-1996	AU 4175896 A 19-06-1996
		AU 4175996 A 19-06-1996	
		AU 4176096 A 19-06-1996	
		AU 4176196 A 19-06-1996	
		AU 4256196 A 19-06-1996	
		AU 4256296 A 19-06-1996	
		CN 1166810 A 03-12-1997	
		CN 1166811 A ,C 03-12-1997	
		CN 1166812 A 03-12-1997	
		CN 1166813 A 03-12-1997	
		CN 1167466 A 10-12-1997	
		CZ 9701585 A3 12-11-1997	
		CZ 9701586 A3 12-11-1997	
		CZ 9701587 A3 12-11-1997	
		CZ 9701588 A3 12-11-1997	
		CZ 9701589 A3 17-12-1997	
		DE 19515046 A1 27-06-1996	
		DE 19515047 A1 30-05-1996	
		DE 19515048 A1 30-05-1996	
		DE 19515050 A1 30-05-1996	
		DE 19515051 A1 30-05-1996	
		DE 19515053 A1 30-05-1996	
		DE 19515054 A1 30-05-1996	
		DE 19515056 A1 30-05-1996	
		DE 19515057 A1 30-05-1996	
		DE 19515058 A1 30-05-1996	
		DE 19515059 A1 30-05-1996	
		DE 19515060 A1 30-05-1996	
		DE 19515061 A1 30-05-1996	
		DE 59504098 D1 03-12-1998	
		DE 59507826 D1 23-03-2000	
		DE 59508631 D1 14-09-2000	
		DE 59509013 D1 15-03-2001	
		DE 59510096 D1 11-04-2002	
		WO 9616846 A1 06-06-1996	
		WO 9616847 A1 06-06-1996	
		WO 9616848 A1 06-06-1996	
		WO 9616849 A1 06-06-1996	
		WO 9616850 A1 06-06-1996	
		WO 9616851 A1 06-06-1996	
		EP 0792225 A1 03-09-1997	
		EP 0792226 A1 03-09-1997	
		EP 0792227 A1 03-09-1997	
		EP 0792228 A1 03-09-1997	
		EP 0794885 A1 17-09-1997	
		EP 0792229 A1 03-09-1997	
		HU 77229 A2 02-03-1998	
		HU 77226 A2 02-03-1998	
		HU 77231 A2 02-03-1998	
EP 0826576	A	04-03-1998	US 5878357 A 02-03-1999
			EP 0826576 A2 04-03-1998
EP 0758601	A	19-02-1997	DE 19529539 A1 13-02-1997
			DE 59608299 D1 10-01-2002
			EP 0758601 A2 19-02-1997
DE 4340932	A1	08-06-1995	JP 7186786 A 25-07-1995

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2004/014528

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument			Datum der Veröffentlichung		Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung	
US 6424907	B1	23-07-2002	DE	19904216	A1	20-01-2000		
			DE	59902209	D1	05-09-2002		
			WO	0003900	A1	27-01-2000		
			EP	1097069	A1	09-05-2001		
			JP	2002520605	T	09-07-2002		
-----								